



Revue européenne des sciences sociales

European Journal of Social Sciences

XLII-130 | 2004

Les usages de la précaution

Plantes transgéniques en agriculture et principe de précaution : le rôle, l'expérience et le point de vue d'un acteur suisse du débat

Nicolas Delabays et Pia Malnoë



Édition électronique

URL : <http://journals.openedition.org/ress/488>

DOI : 10.4000/ress.488

ISSN : 1663-4446

Éditeur

Librairie Droz

Édition imprimée

Date de publication : 1 novembre 2004

Pagination : 249-258

ISBN : 2-600-00980-9

ISSN : 0048-8046

Référence électronique

Nicolas Delabays et Pia Malnoë, « Plantes transgéniques en agriculture et principe de précaution : le rôle, l'expérience et le point de vue d'un acteur suisse du débat », *Revue européenne des sciences sociales* [En ligne], XLII-130 | 2004, mis en ligne le 13 novembre 2009, consulté le 01 mai 2019. URL : <http://journals.openedition.org/ress/488> ; DOI : 10.4000/ress.488

Ce document a été généré automatiquement le 1 mai 2019.

© Librairie Droz

Plantes transgéniques en agriculture et principe de précaution : le rôle, l'expérience et le point de vue d'un acteur suisse du débat

Nicolas Delabays et Pia Malnoë

1. Introduction

- 1 Au printemps 1953, Watson et Cricks déterminaient la structure de l'ADN et construisaient la première maquette en 3 dimensions de la molécule. Depuis, la biologie moléculaire a connu des développements spectaculaires, stimulés par la découverte du code génétique, puis des mécanismes de réplication de l'ADN et de la synthèse des protéines. Plus récemment, les données issues du séquençage du génome de multiples organismes, homme compris, ont encore enrichi notre compréhension du développement et du fonctionnement des êtres vivants. Comme c'est souvent le cas en science, les progrès réalisés ont régulièrement induit des remises en cause des conceptions antérieures, (re)considérées comme trop simplistes ou incomplètes. Ainsi, par exemple, l'analogie désormais classique établie entre, d'un côté, le code génétique et son expression et, de l'autre, le fonctionnement d'un programme informatique, est-elle actuellement fortement remise en question (Atlan, 1999 ; Kupiec & Sonigo, 2000). Aujourd'hui, la biologie et la génétique moléculaires continuent donc de connaître une évolution rapide, et nombre de biologistes s'accordent pour considérer que leur discipline se situe à une époque charnière de son développement.
- 2 Comme dans d'autres domaines de la science contemporaine, les avancées scientifiques réalisées en biologie moléculaire ont généré (et bénéficié en retour d') un développement technologique qui, lui-même, a déployé son cortège d'applications pratiques. En biologie,

de telles applications touchent principalement deux domaines : la médecine et l'agronomie.

- 3 Pour l'agriculture, une des principales applications technologiques des progrès de la génétique moléculaire est la transgénèse végétale ; c'est-à-dire le développement de plantes génétiquement modifiées (PGM) suite au transfert direct, dans une espèce cultivée, d'un ou de plusieurs gènes, souvent issus d'autres espèces. Cette application s'inscrit dans la longue histoire de la domestication, de la sélection et de l'amélioration des plantes, éléments centraux du développement passé et actuel de l'agriculture (Strauss, 2003). Parallèlement, comme (presque) toutes les innovations technologiques, la transgénèse suscite évidemment de nombreuses questions et s'accompagne de craintes, plus ou moins clairement définies et exprimées. Depuis quelques années, ces craintes s'inscrivent dans un contexte plus général de remise en cause de la recherche scientifique et de son statut (Levy-Leblond, 1996), d'une méfiance quant à ses impacts sur l'environnement et ses conséquences pour la société en général (Lecourt, 1999). En témoignent, par exemple, l'émergence d'un concept tel que le « principe de précaution » et les multiples débats qu'il suscite (M Hunyadi, ce volume ; P. Godard, 1997). Les conséquences de cette défiance sont le désir d'une participation démocratique et le besoin d'un contrôle citoyen vis-à-vis de la science, ses objectifs et ses priorités, notamment dans le domaine de ses applications technologiques.
- 4 Dans le cas du génie génétique appliqué à l'agriculture, ces questionnements et ces inquiétudes sont d'autant plus aigus qu'ils portent sur des sujets particulièrement sensibles, tels que l'alimentation et la santé. Ils sont également exacerbés par la prise de conscience du pouvoir grandissant exercé par certains intérêts économiques sur l'évolution de l'agriculture et de la société : clairement, l'outil que constitue le génie génétique, avec les possibilités techniques et juridiques d'appropriation du vivant qu'il offre à ceux qui le maîtrisent, renforce des tendances considérées par beaucoup comme antidémocratiques et peu soucieuses du bien commun (Berlan, 2001).
- 5 Actuellement, les plantes agricoles génétiquement modifiées focalisent un débat qui traverse nos sociétés et cristallisent les clivages. A cet égard, la situation en Suisse offre une illustration caricaturale de ce clivage et des blocages qu'il génère : ainsi, alors qu'aujourd'hui plus de 67,7 millions d'hectares sont cultivés de par le monde avec des PGM, soit environ 15 fois la superficie totale de notre pays, il est extrêmement difficile, au jour où nous écrivons ces lignes, d'expérimenter ces plantes au champ en Suisse, ne serait-ce que sur une surface de quelques m². Nous faisons ici allusion à l'essai planifié avec le blé transgénique développé par l'Ecole polytechnique fédérale de Zurich (EPFZ). Lorsque l'on considère que l'essai en question est l'aboutissement d'un projet visant à étudier et augmenter la résistance du blé à une maladie contre laquelle des fongicides agressifs sont actuellement largement utilisés, qu'il a été développé par un des instituts parmi les plus réputés du pays dans le domaine des sciences végétales (EPFZ) et grâce au soutien d'un financement public, on mesure la force du blocage actuel. Enfin, même si cet essai est finalement réalisé, les exigences requises au niveau de la biosécurité sont telles qu'il sera difficile de parler d'un essai en « conditions naturelles ».
- 6 Cette situation helvétique s'inscrit bien dans le contexte d'une mise en application du « principe de précaution ». En effet, indépendamment des multiples analyses, définitions et tentatives de conceptualisation dont il fait l'objet – ce dont témoignent plusieurs contributions du présent ouvrage – le principe de précaution fait aujourd'hui partie intégrante de la législation suisse. Comme souvent dans les textes officiels qui en font

mention, ce principe s'adresse prioritairement aux instances publiques et donc aux décisions du pouvoir politique. A cet égard, on peut relever qu'en Suisse, la législation actuelle relative aux PGM¹ n'interdit pas leur expérimentation et leur mise en culture. Cependant, en se référant explicitement au principe de précaution, elle les soumet à un contrôle très strict. Ce contrôle, concrétisé par une procédure d'autorisation, exige une analyse interdisciplinaire, qui intègre les points de vue éthique, juridique, économique, politique et scientifique. Plus généralement, cette approche interdisciplinaire reste aujourd'hui nécessaire afin de mieux définir et comprendre les différents aspects liés aux plantes génétiquement modifiées, évaluer les solutions qu'elles peuvent proposer et appréhender les risques qu'elles soulèvent. Quelle place peuvent et doivent occuper les instituts de recherches agronomiques publiques pour contribuer au mieux à une telle analyse ?

2. Le rôle de la recherche publique dans l'évaluation des biotechnologies végétales et leur intégration à l'agriculture

- 7 Globalement, et très schématiquement, la recherche agronomique vise à améliorer la productivité et la qualité de l'agriculture. Pour ce faire, elle tente de mieux comprendre la biologie des plantes cultivées, celle de leurs ennemis (pathogènes, ravageurs et mauvaises herbes), les conditions de leur développement (sol, eau, climat, fumure,...), et plus largement le fonctionnement des agro-écosystèmes. En tant que recherche appliquée, elle juge constamment de la possibilité et de l'opportunité d'intégrer, d'utiliser dans les pratiques agricoles, les connaissances nouvelles, notamment celles issues de la recherche fondamentale. Les plantes transgéniques résultent précisément d'une de ces technologies qui se doit aujourd'hui d'être évaluée par la recherche agronomique.
- 8 Dans le système économique qui est actuellement le nôtre, une partie importante des développements technologiques sont, en agriculture aussi, réalisés, ou au moins finalisés, par de grandes entreprises privées, souvent multinationales. C'est notamment le cas dans le domaine des plantes transgéniques. Cette situation découle en partie du désengagement progressif des pouvoirs publics du secteur de l'agriculture. Elle est accentuée par le fait que les procédures à appliquer en vue d'une commercialisation de ces plantes (dépôts et défenses de brevets, tests en pleins champs, suivi de la biosécurité) s'avèrent si complexes et coûteuses que, souvent, même si la recherche et le développement sont effectués par une institution publique ou une PME, seule une compagnie multinationale a les moyens d'aboutir à une mise sur le marché. Cette situation donne évidemment un pouvoir important à l'industrie sur le développement de l'agriculture. Une recherche publique forte apparaît donc souhaitable pour promouvoir une utilisation socialement et écologiquement optimale de cette technologie. En effet, il est indéniable que nombre de problèmes rencontrés par l'agriculture, qui n'intéressent pas directement l'industrie, pourraient cependant bénéficier de cette technologie pour leur résolution. C'est le cas, par exemple, du développement de variétés offrant une meilleure utilisation de l'eau ou de la fumure : ici l'objectif est une meilleure gestion des ressources de l'environnement, soit un bien collectif qui peut échapper aux calculs stratégiques de l'industrie privée. Un autre exemple concerne la mise au point de plantes présentant des caractéristiques agronomiques utiles prioritairement aux agriculteurs. Un

bon exemple est constitué par la création de lignées de pomme de terre résistant aux virus. Le problème des viroses est important mais les industries phytosanitaires investissent peu dans ce secteur, car le développement d'antiviraux est très difficile. Les sélectionneurs privés sont également assez peu actifs, peut-être parce qu'ils n'ont pas intérêt à remettre en cause le système actuel de certification et de reproduction régulière de matériel assaini (à partir de collection *in vitro*). En effet, la mise à disposition des agriculteurs de lignées de pomme de terre résistantes aux virus contribuerait à les affranchir des producteurs de semences. Plus généralement, une recherche publique se justifie pour la sélection de variétés présentant des caractéristiques agronomiques ou nutritionnelles bénéfiques pour des acteurs agricoles ou des populations économiquement faibles. Parallèlement, elle s'avère indispensable pour juger en (meilleure) connaissance de cause des aspects relevant de la biosécurité.

- 9 En Suisse, les institutions publiques les plus concernées par une recherche appliquée à l'agriculture sont les Ecoles polytechniques fédérales, les Hautes écoles spécialisées et les Stations fédérales de recherches agronomiques. Pour les questions relatives plus spécifiquement aux plantes GM, ce sont principalement l'Ecole polytechnique fédérale de Zurich (EPFZ), ainsi que les Stations fédérales de recherches agronomiques Agroscope de Changins (RAC) et de Reckenholz (FAL) qui sont concernées.
- 10 Les activités de recherche développées dans une Station agronomique telle que celle de Agroscope Changins prennent évidemment une orientation pratique : cela signifie que l'ensemble de son programme de recherches, même s'il inclut des aspects de connaissance fondamentale, se justifie principalement par les perspectives d'une application potentielle, plus ou moins directe selon les cas, à l'agriculture suisse. Différents critères sont pris en compte pour juger de la pertinence, de l'importance et du succès de ces projets de recherches, critères qui peuvent être regroupés sous 3 objectifs généraux : *augmentation de la productivité, amélioration de la qualité des produits agricoles, réduction des impacts sur l'environnement*. Parallèlement, elle doit veiller, dans un souci d'efficacité évident, à inscrire ces travaux dans un réseau de collaborations et de compétences nationales et internationales. Enfin, elle a également pour tâche d'assurer la diffusion de ces résultats auprès des professionnels de l'agriculture, des milieux scientifiques et plus généralement de la population dans son ensemble : un rôle d'information donc, transparent et le plus objectif possible, affranchi d'une approche exclusivement économique des problèmes.
- 11 Parallèlement à ces travaux de développement et d'information, une part importante des activités d'une Station fédérale concerne des « tâches légales », qui recouvrent des missions de contrôle ou de vérification officiels, prévues par la législation, telles que, par exemple, l'étude des variétés, la certification des plants, l'homologation des produits phytosanitaires, et bien sûr l'évaluation des plantes transgéniques.
- 12 Dans la pratique, ces deux volets (recherche et tâches légales) sont étroitement complémentaires et même fortement interdépendants : en effet, dans la majorité des cas, une tâche de contrôle n'est crédible et efficace que si elle est accompagnée d'une compétence reconnue, elle-même développée et maintenue par une activité de recherche originale et créative.
- 13 Cette complémentarité est particulièrement nécessaire dans le domaine des plantes GM, compte tenu, notamment, de la rapidité des innovations scientifiques et techniques qui les caractérisent et des enjeux sociaux, économiques et environnementaux qui leur sont liés.

- 14 Schématiquement, en ce qui concerne la Station de Changins, ses missions dans le domaine des plantes transgéniques peuvent être formulées en trois points :
- Développer et maintenir une compétence scientifique et technique dans le domaine de la transgénèse végétale appliquée aux espèces agricoles.
 - Evaluer l'intérêt agronomique des plantes GM proposés en expérimentation ou en culture en Suisse. Parallèlement, identifier et prendre en compte les aspects potentiellement à risque ou indésirables de cette technologie.
 - Proposer des applications agronomiquement, écologiquement et socialement utiles et bénéfiques.

3. Expérience de la Station agroscope rac de Changins dans le domaine des plantes transgéniques : développement de pommes de terre résistantes aux virus et aux maladies fongiques

- 15 Les premières publications relatives à des plantes transgéniques développées par l'homme apparaissent en 1983 et sont l'œuvre de quatre groupes travaillant de manière indépendante, en Belgique et aux Etats-Unis : les plantes génétiquement modifiées sont des tabacs et des pétunias résistants à des antibiotiques de type kanamycine (Herrera-Estrella *et al.*, 1983 ; Bevan *et al.*, 1983 ; Fraley *et al.*, 1983) et des tournesols exprimant une protéine de haricot (Murai *et al.*, 1983). Les premières cultures commerciales de plantes GM apparaissent aux USA en 1996. Ce n'est qu'à partir de la fin des années 80 que cette technologie a vraiment commencé à intéresser l'agronomie et qu'elle rejoint les préoccupations scientifiques de la RAC, principalement dans la perspective de développer des résistances aux pathogènes.
- 16 La résistance aux virus a été l'un des premiers domaines d'application de la transgénèse végétale. Il faut dire qu'en agriculture, il n'existe pas de méthode de lutte directe contre ce type de pathogènes. Or, les travaux de MacKinney (1929) avaient déjà montré que l'inoculation de virus atténués protégeait les plants de tabac contre des virus virulents. Plus tard, il a été suggéré que l'intégration et l'expression de certains gènes d'un virus dans son hôte pouvaient interférer avec son cycle vital et conférer une résistance à la plante (Sanford & Johnston, 1985). Ainsi, il a été proposé d'utiliser uniquement le gène de la capsid (enveloppe protéique du virus) pour conférer une telle résistance (Powel *et al.*, 1986). C'est cette approche qui a été appliquée, sur le tabac d'abord, (Powel *et al.*, 1986) puis sur la pomme de terre (Hemenway *et al.*, 1988, Farinelli *et al.*, 1992).
- 17 A la RAC, après des essais préliminaires sur le tabac, des pommes de terre ont été génétiquement transformées en y introduisant le gène codant pour la protéine de la capsid du PVY^N, un redoutable virus s'attaquant à cette importante plante cultivée (Farinelli *et al.*, 1992 ; Farinelli & Malnoë, 1993). Plusieurs clones transformés de pomme de terre de la variété Bintje (un des principaux cultivars de pomme de terre cultivés en Suisse, par ailleurs très sensible aux viroses) se sont révélées totalement résistants au virus en laboratoire (Farinelli *et al.*, 1990). En 1991, puis en 1992, ces clones transgéniques ont été testés au champ, dans ce qui restent, jusqu'à ce jour, les deux seules expérimentations autorisées et réalisées à l'extérieur en Suisse. La résistance totale des lignées transgéniques au virus PVY^N s'est confirmée au champ. Une résistance croisée partielle a également été observée vis-à-vis du virus PVY^O, mais aucune protection contre

d'autres potyvirus (PVA et PVM) n'a été mise en évidence (Collet *et al.*, 1993, Malnoë *et al.*, 1994).

- 18 En ce qui concerne la résistance aux pathogènes fongiques, un réseau de collaboration s'est constitué au milieu des années 90, dans le cadre du Programme Prioritaire Biotechnologie du Fonds national suisse pour la recherche scientifique. Ce réseau rassemblait, sous la coordination de la RAC et de l'Université de Fribourg, plusieurs partenaires académiques suisses (Universités de Bâle, Berne, Genève et Lausanne, EPFZ, Institut Friedrich Miescher), ainsi qu'une entreprise française active dans la création variétale de pommes de terre (Germicopa). Ce groupe s'est concentré sur l'étude de la résistance de la pomme de terre aux maladies fongiques, avec comme objectif spécifique le développement de lignées transgéniques résistantes au mildiou de la pomme de terre (*Phytophthora infestans*), une des principales maladies de cette culture. On peut rappeler ici que, pour combattre cette maladie, les champs suisses sont traités, en moyenne et par an, avec 60 tonnes de matières actives fongicides.
- 19 Trois approches ont été appliquées pour obtenir des lignées de pomme de terre transgéniques résistantes au mildiou : insertion de gènes codant des protéines antifongiques, insertion de gènes codant des protéines liées au processus de résistance aux pathogènes chez les végétaux (protéines PR), insertion du gène codant la protoporphyrinogène oxydase de la pomme de terre en orientation antisens. Parmi les nombreux clones obtenus, plusieurs ont montré, en laboratoire et en serre, une résistance accrue vis-à-vis du pathogène (Schneider *et al.*, 2004, Malnoë *et al.*, 2004). Les clones parmi les plus prometteurs ont été testés au champ en France en 1998, puis en 2000 et 2001 (Malnoë *et al.*, 2004) et de nombreux enseignements peuvent être tirés de ces essais. Ainsi, plusieurs clones, portant en particulier un gène antifongique de type « thionine », ont démontré une résistance accrue au champ. Chez certains clones, la résistance qui avait été observée en milieu confiné (cases climatisées et serres) n'a pas été reproduite dans les essais au champ. De plus, plusieurs clones transgéniques ont montré des altérations stables du phénotype (morphologie), variables selon les clones, même au sein d'une construction génétique donnée. Avec d'autres clones, pourtant d'aspect normal en serre, des anomalies morphologiques sont apparues à l'extérieur. Enfin, des résultats préliminaires indiquent une modification possible du profil phytochimique de certains clones transgéniques, notamment au niveau de la teneur en alcaloïdes (Ioset *et al.*, 2002).
- 20 Schématiquement, au niveau agronomique, 2 enseignements majeurs peuvent être tirés de nos expériences :
 - La transgénèse peut effectivement offrir un outil efficace, permettant de proposer des solutions originales à des problèmes agronomiques importants, difficiles à résoudre par des moyens classiques.
 - Nos observations confirment la nécessité de l'expérimentation au champ ; tant pour pouvoir juger concrètement de la valeur agronomique des lignées transgéniques que pour évaluer correctement leur conformité et leur stabilité.
- 21 Parallèlement à cette analyse agronomique, il est évident, comme l'illustrent clairement plusieurs des observations réalisées dans le cadre de nos essais et mentionnées ci-dessus, que la transgénèse soulève des questions quant à sa sécurité (en l'occurrence biologique), questions qu'il convient de traiter en détail avant une application à large échelle. Dans ce registre également, il apparaît qu'une activité de recherches actives et une expérience

pratique sont nécessaires pour poser toutes les bonnes questions et, le cas échéant, tenter d'y répondre.

4. Analyse et gestion des risques biologiques dans les activités de la RAC en transgénèse

- 22 La RAC, comme toute institution ou entreprise travaillant avec des organismes transgéniques (ou même « simplement » pathogènes) doit, de par la Loi, disposer d'un programme de sécurité. Ce programme impose, pour chaque projet de recherche incluant des PGM, une analyse des risques spécifiques, partie intégrante d'une notification ou d'une demande d'autorisation adressée au bureau suisse pour la biotechnologie, un organisme dépendant de l'Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEFP).
- 23 Une telle analyse de risque tient compte de très nombreux facteurs, situés à différents niveaux. De fait, chaque cas est différent, dépendant de l'espèce végétale considérée (biologie, mode de reproduction, possibilité de fécondations croisées avec des plantes de la même espèce ou d'espèces apparentées), de la caractérisation moléculaire de la transformation (séquence des acides nucléiques et fonction du transgène, nombre de sites d'insertions et de copies du transgène), des caractéristiques effectivement conférées à la plantes par la transformation, enfin de l'environnement dans lequel l'expérimentation se déroule (un essai en milieu confiné, dont le matériel est systématiquement détruit, s'évaluera évidemment différemment qu'une expérimentation au champ). A partir de ces données, des effets adverses potentiels sont identifiés et évalués. Le cas échant, une expérimentation spécifique pourra être planifiée. Ainsi, par exemple, dans le cas de la résistance aux virus par transgénèse, un des principaux soucis soulevés par l'analyse des risques concernait la possibilité d'une recombinaison entre l'ARN messenger transgénique et l'ARN génomique d'un virus infectant une plante génétiquement modifiée. En effet, une telle recombinaison pourrait occasionner l'apparition de nouveaux caractères chez le virus infectant, par exemple la modification du spectre d'hôte ou de la virulence. Il ressort des essais réalisés à Changins que la recombinaison entre ARN viral génomique et ARN transgénique est très faible, voire inexistante (Jakab *et al.*, 1997). Par contre, une autre conséquence découlant des processus de recombinaison a été mise en évidence : différents virus d'une population sont en effet susceptibles de se recombiner dans une plante infectée ; dans la majorité des cas, les virus recombinants sont moins virulents et peu compétitifs. Bien sûr, de telles recombinaisons peuvent avoir lieu dans toutes les plantes, qu'elles soient transgéniques ou non ; mais dans les plantes transgéniques développées pour résister aux virus, la pression de sélection exercée sur ces derniers favorise l'émergence de recombinants virulents (Jakab *et al.*, 1997). Au niveau purement agronomique, la présence d'un tel phénomène imposera des mesures culturales appropriées, comme une rotation des variétés résistantes utilisées, par exemple.
- 24 Dans tous les cas, l'analyse des risques abouti à une classification dont dépendent les mesures de sécurité à adopter.
- 25 Il est important de relever à ce stade que, pour tous projets en transgénèse, l'évaluation et la prise en compte des risques s'inscrivent dans un processus permanent et dynamique. Dès le départ, cette nécessité découle de la technique même de transformation génétique. Ainsi, l'introduction d'ADN dans un tissu végétale (fleurs, tiges, feuilles...) se réalise

actuellement par l'intermédiaire d'une bactérie *Agrobacterium tumefaciens*, ou à l'aide d'un appareil qui projette des particules enrobées d'ADN dans les cellules. Aujourd'hui, avec ces 2 méthodes, il est techniquement impossible de déterminer à l'avance le site d'insertion dans le génome (l'ensemble de chromosomes) de manière précise. Si l'insertion se réalise dans un gène actif de la plante, ou dans une région qui régule l'expression de gènes, on peut créer une plante transgénique dont une ou des fonctions sont modifiées, voire altérées. De plus, des variations peuvent apparaître lors de la régénération d'une plantule à partir d'une cellule transformée, sans que la transformation proprement dite soit impliquée. Une analyse moléculaire est donc nécessaires, de même qu'une observation continue des plantes obtenues, pour vérifier qu'elles présentent un comportement conforme aux prédictions. En effet, comme le démontrent plusieurs des observations effectuées dans nos propres projets, des variations peuvent parfaitement apparaître et s'exprimer à un stade de développement ultérieur ou dans des conditions particulières.

- 26 Cet exemple illustre la nécessité d'une réévaluation régulière des risques d'un projet, qui intègre les nouvelles observations ou connaissances acquises. Une telle réévaluation est évidemment d'autant plus justifiée, et d'ailleurs expressément prévue par la Loi, lorsque l'expérimentation change d'échelle. Ainsi, dans ce « continuum » que représentent le développement d'un projet et son évaluation au niveau des risques, le passage de la serre à l'expérimentation au champ constitue évidemment une étape fondamentale.
- 27 Pour cette étape, il est logique et nécessaire de prévoir une expérimentation de petite taille, dans un écosystème connu. La taille réduite facilite la surveillance et autorise une destruction rapide, si nécessaire. Ce type d'expérimentations est important, car il permet justement d'identifier des phénomènes inattendus ou inconnus, phénomènes qui pourront être inclus dans l'estimation du risque d'un essai à plus large échelle. Lorsque les surfaces grandissent et que les écosystèmes concernés se multiplient, l'évaluation des risques devient plus complexe, ces derniers étant plus difficiles à appréhender : dans un système ouvert, nombre de paramètres échappent à notre contrôle et peuvent changer de manière inattendue. A chaque étape, on peut donc être amené à formuler un certain nombre d'hypothèses nouvelles, qu'il convient de vérifier par une expérimentation *ad hoc*.
- 28 La gestion des risques s'inscrit donc dans un processus continu et permanent d'évaluations, de vérifications et d'ajustements qui seul permet d'élargir la connaissance et de consolider la confiance. Evidemment, une certaine incertitude subsistera toujours ; l'épistémologie a maintes fois souligné l'impossibilité logique des inférences absolues. En ce qui concerne spécifiquement l'appréhension des risques, on ne peut évidemment jamais totalement exclure l'émergence d'un phénomène inattendu, non-identifiable en l'état des connaissances à un moment donné, et qui donc ne peut être inclus dans les hypothèses de travail du chercheur. Cette constatation ultime a évidemment son reflet : on ne peut également pas prouver l'inexistence de quelque chose qui n'existe pas.

5. En guise de conclusion

- 29 Aujourd'hui, il est de la responsabilité de la Station Agroscope de Changins de rester vigilante quant aux possibilités qu'offre la transgénèse végétale pour l'agriculture, notamment en regard des progrès rapides qui caractérisent cette branche de la biologie. Il lui revient également de participer à l'évaluation des risques que ces plantes peuvent potentiellement présenter, en étroite collaboration avec notre Station sœur de

Reckenholz, chargée plus spécifiquement de l'étude des impacts éventuels sur l'environnement (Sanvido *et al.*, 2003), ainsi qu'avec les autres instances officielles désignées par la législation : Offices fédéraux de l'agriculture, de l'environnement, vétérinaire et de la santé publique. C'est pour remplir ce rôle que nous élaborons et réalisons nos projets en transgénèse végétale.

- 30 Concrètement, dans le cadre de nos activités, l'analyse des risques et la prise en compte du principe de précaution apparaissent à 2 niveaux. En premier lieu, elles interviennent dans l'élaboration de nos propres projets, et aboutissent à la définition des mesures de sécurité à prendre. Plus globalement, elles sont incluses dans notre participation à l'évaluation des projets d'expérimentation et de mise en culture planifiés en Suisse. Dans tous les cas, notre analyse des risques portent prioritairement sur les composantes technico-scientifiques des aspects agronomiques et environnementaux. Cette priorité correspond à la nature expérimentale de nos activités dans ce domaine et tient également au rôle institutionnel qui nous est assigné.
- 31 Il n'en reste pas moins que ces aspects, pour importants qu'ils soient, n'épuisent de loin pas les questions soulevées par cette technologie. Il est cependant intéressant de constater, comme l'a très bien analysé Bordogna Petriccione (ce volume), que les arguments scientifiques pèsent souvent d'un poids particulier dans l'analyse et la réflexion qui accompagnent la mise en oeuvre du principe de précaution, qu'ils servent en quelque sorte d'alibi à d'autres types d'arguments, qu'ils soient sociaux, économiques, politiques, éthiques,... Dans ce contexte, il nous semble que la contribution de notre Station de recherche est double : d'une part, on l'a vu, il nous revient d'établir et de partager une connaissance objective nécessaire à l'analyse technico-scientifique des risques soulevés par les PGM ; et d'autre part, il nous faut également veiller à l'utilisation adéquates de ces données, en particulier à ce qu'elles ne se substituent pas indûment aux autres arguments.
- 32 Cette double démarche s'inscrit dans un dialogue permanent et durable avec les autres acteurs impliqués dans l'application du principe de précaution. Dialogue permanent, car tributaire de l'évolution constante des connaissances ; dialogue durable, car il doit se construire sur un apprentissage et une compréhension mutuels des approches, des contraintes et même du vocabulaire propres à chaque discipline.

BIBLIOGRAPHIE

- Atlan, H. (1999), *La fin du « tout génétique »* ? INRA éditions, Paris, 91 p.
- Berlan, J.-P. (2001), *La guerre au vivant*. Agone, Marseille, 166 p.
- Bevan, M.W. Flavell, R.B., Chilton, M.D. (1983), « A chimaeric antibiotic resistance gene as a selectable marker for plant cell transformation ». *Nature* 304, 184-118.
- Collet, G.F., Malnoë, P., Farinelli, L. & Reust, W. (1993), « Pomme de terre transgénique au champs. Contrôle de la résistance contre les virus PVY de la pomme de terre Bintje transformée génétiquement ». *Revue suisse Agric.* 25, 373-381.

- Farinelli, L., Malnoë, p. (1993), « Coat-protein gene-mediated resistance to potato virus Y in tobacco: examination of the resistance mechanisms – Is the transgenic coat protein required for protection? » *Mol. Plant Microbe Inter.* 6, 284-292.
- Farinelli L., Malnoë P., Collet G.F. (1992), « Heterologous encapsidation of potato virus Y strain O (PVY^O) with the transgenic coat protein of PVY strain N (PVY^N) in *Solanum tuberosum*, cv. Bintje ». *Bio/Technology* 10 : 1020-1025.
- Farinelli, L. Gugerli, P., Malnoë, p. (1990), « Des plantes transgéniques de pomme de terre et de tabac résistantes au potyvirus PVY ». *Revue suisse Agric.* 22, 307-310.
- Fraley, R.T., Rogers, S.G., Horsch, R.B., Sanders, P.R., Flick, J.S., Adams, S.P., Bittner, M.L., Brand, L.A., Fink, C.L., Fry, J.S., Galluppi, G.R., Goldberg, S.B., Hoffmann, N.L., Woo, S.C. (1983), « Expression of bacterial genes in plant cells ». *Proc. of the Natl Acad. Sci. USA* 80, 4803-4807.
- Godard, O. (1997), *Le principe de précaution dans la conduite des affaires humaines*. INRA éditions, Paris.
- Hemenway, C., Fang, R.-X., Kaniewski, W.K., Chuan, N.H., Tumer, N.E. (1988), « Analysis of the mechanism of protection in transgenic plants expressing the potato virus X coat protein or its antisense RNA ». *EMBO J.* 7, 1273-1280.
- Herrera-Estrella, L., Depicker, Van Montagu, M., Schell, J. (1983), « Expression of chimaeric genes transferred into plant cells using a Ti-plasmid-derived vector ». *Nature* 303, 209-213.
- Ioset, J.-R., Werlen, C., Malnoë, P., Schaerer, S., Bonnel, E., Hostettmann, K. (2002), « Development of analytical methods for the biosafety assessment of genetically modified organisms ». *Proc. 50th Annual Congress of the Society for Medicinal Plant Research*, Barcelone (Espagne), 8-12 septembre (Abstract).
- Jakab G., Droz E., Brigneti G., Baulcombe D. and Malnoë p. (1997a), « Infectious *in vivo* and *in vitro* transcripts from a full-length cDNA clone of PVY-N605, a Swiss necrotic isolate of potato virus Y. » *J. Gen. Vir.* 78: 3141-3145.
- Jakab G., Vaistij F.E., Droz E. and Malnoë p. (1997b), « Transgenic plants expressing viral sequences create a favourable environment for recombinaison between viral sequences ». In: *Virus Resistant Transgenic Plants: Potential Ecological Impact*, Springer-Verlag, Berlin, pp. 45-51.
- Kupiec, J.-J., Sonigo, p. (2000), *Ni Dieu, ni gène*. Coll. Science ouverte, Seuil, Paris, 229 p.
- Lecourt. D. (1999), *Contre la peur, de la science à l'éthique, une aventure infinie*. Quadrige/PUF, Paris, 176 p.
- Levy-Leblond, J.-M. (1996), *La pierre de touche : la science à l'épreuve...* Gallimard, Paris, 365 p.
- Malnoë P., Farinelli L., Collet G.F. and Reust W. (1994), « Small-scale field tests with transgenic potato cv. Bintje to test resistance to primary and secondary infections with potato virus Y. » *Plant Mol. Biol.* 25: 963-975.
- Malnoë, P., Droz, E., Stolz, S., Delabays, N., Chatôt, C., Bonnel, E. (2004), *Transgenic potatoes expressing thionin genes from barley and mistletoe. Fungal resistance and phenotypic variations under different growth conditions*. (En prép.)
- Murai, N., Sutton, D.W., Murray, M.G., Slightom, J.L., Merlo, D.J., Reichert, N.A., Sengupta-Gopalan, C., Stock, C.A., Barker, R.F., Kemp, J.D., Hall, T.C. (1983), « Phaseolin gene from bean is expressed after transfer to sunflower via tumor-inducing plasmid vectors ». *Science* 222 476-482.

Powel, A.P., Nelson, R.S., De, B., Hoffmann, N., Rogers, S.G., Fraley, R.T. & Beachy, R.N. (1986), « Delay of disease development in transgenic plants that express the tobacco mosaic virus coat protein gene ». *Science* 232, 738-743.

Sanford J.C. & Johnston, S.A. (1985), « The concept of parasite-derived resistance deriving resistance genes from parasite's own genome ». *J. theor. Biol.* 113, 395-405.

Sanvido, O., Bigler, F., Widmer, F. & Winzler, M. (2003), « Erforschung der ökologischen Risiken transgener Pflanzen ». *AgrarForsschung* 10, 176-181.

Schneider, M., Droz, E., Malnoë, p. 6 Métraux, J.-P (2004), « Transgenic potato expressing oxalate oxidase exhibit increased resistance to fungal and bacterial pathogens ». *Potato Research* (sous presse).

Strauss, S.H. (2003), « Genomics, genetic engineering and domestication ». *Science*, 300 : 61-62.

NOTES

1. Il s'agit de la « Loi sur l'application du génie génétique au domaine non humain », entrée en vigueur le 1^{er} janvier 2004 et issue d'un débat nourri qui s'est déroulé sur une dizaine d'années en sollicitant tous les outils du processus démocratique helvétique.